心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 6, 966–974
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.00966

·研究前沿(Regular Articles)·

冲突解决过程中认知控制的注意调节机制*

李政汉[1,2] 杨国春[1,2] 南威治[3] 李 琦[1,2] 刘 勋[1,2]

([1]中国科学院行为科学重点实验室, 北京 100101) ([2]中国科学院大学, 北京 100049)
([3]广州大学教育学院心理系脑与认知科学中心, 广州 510006)

摘 要 认知控制在冲突解决过程中起到重要的调节作用。相关理论大多结合任务相关刺激的加工增强和任务无关刺激的加工抑制进行解释, 但近年来受到实证研究的挑战。综述了冲突解决中增强和抑制两种调节机制的争论和相应的实证证据, 同时指出认知控制的调节机制可能受到冲突情境和个体自身等因素的影响。未来的研究应更多关注认知控制调节机制的影响因素, 加强认知加工策略和认知训练的探究, 为认知功能受损群体的干预提供依据。

关键词 认知控制; 冲突解决; 注意; 增强; 抑制
分类号 B842

1 引言

人们每天都要面对大量的信息, 但受到注意资源的限制, 我们无法在同一时间加工过多的信息(Wingfield, 2016)。因此, 人们会根据环境的需要, 对注意资源快速地、有策略地进行调整, 把注意集中到任务相关的信息同时忽略无关信息(Egner & Hirsch, 2005)。当不同信息相互冲突时, 认知控制对注意的调控就显得尤为重要。

认知控制(cognitive control)是指在特定的情境中, 个体为了达到具体的目的和意图, 灵活地、自适应地调动注意资源来动态地调整想法和行动的心理过程(Shenhav, Botvinick, & Cohen, 2013; Fan, 2014)。作为一种核心的高级认知功能, 认知控制参与从感知觉、注意、学习和记忆到情绪调节、奖励决策等心理过程的方方面面, 在人类智能中起关键作用(Stout, 2010)。此外, 诸多心理和行为障碍, 如抑郁症、精神分裂症、强迫症和双相障碍等也与认知控制的失调密不可分(Cole, Repovš, & Anticevic, 2014)。

在实验室, 研究者们开发了很多经典的实验范式来研究冲突加工过程中的认知控制机制, 使用最为广泛的当属刺激−反应协同性(stimulus-response compatibility, SRC)任务, 它是认知控制相关理论模型的主要实证依据来源(刘勋, 南威治, 王凯, 李琦, 2013; Botvinick & Braver, 2015)。比如在经典的 Stroop 范式中, 要求被试对表征颜色意义的词汇的印刷色(任务相关刺激)进行判断, 忽略词义(任务无关刺激), 当词义和印刷色不同的时候(如红颜色印刷的“蓝”字), 就会形成认知冲突, 导致被试的反应变慢, 更易出错(Stroop, 1935)。冲突解决是冲突加工过程中的重要环节, 一般认为冲突解决中, 认知控制调节注意分配的作用机制有两种: 一种是对任务相关刺激的加工增强(enhancement), 另一种是对任务无关刺激的加工抑制(inhibition), 而相关理论模型大多将两者有机结合, 认为是两种过程共同作用的结果(Cohen, Dunbar, & McClelland, 1990; Posner & Dehaene, 1994; Verguts & Notebaert, 2008)。但这一观点又引起了很多争议, 近期的研究发现增强和抑制不一定同时发挥作用(Egner & Hirsch, 2005; Wendt, Luna-Rodriguez, & Jacobsen, 2012; Reisenauer & Dreisbach, 2014; Purmann & Pollmann, 2015;

收稿日期: 2017-07-21
* 国家重点研发项目计划(2016YFC0800901-Z03); 中德国际地区合作与交流项目(NSFC 61621136008/DFG TRR-169)。
通信作者: 刘勋, E-mail: liux@psych.ac.cn

Manza et al., 2016; Noonan et al., 2016)。由于这些研究实验范式和结果不尽相同, 得出的结论也不一致, 有必要对这一问题进行系统归纳和梳理。

本文围绕认知控制的作用机制展开讨论, 首先介绍了冲突加工的相关理论, 随后从认知控制是增强相关刺激加工还是抑制无关刺激加工的角度出发, 评述了近年来对冲突解决的相关研究, 接着进一步分析和总结了该领域内存在的一些问题, 最后根据这些亟待解决的问题对未来的研究方向提出了一些展望。

2　冲突加工的相关理论

人们对于认知控制的探索要追溯到半个世纪以前, Miller, Galanter 和 Pribram (1960)最早将"控制"这一概念引入了心理学; 经过 10 多年的发展, 有人提出了"认知控制"的说法, 认为在注意系统中有一个独立的子系统来负责执行控制, 它的作用是将注意集中在具体情境中主动选择的方面(Posner & Snyder, 1975)。Posner 的观点被广泛用于 SRC 任务中的冲突解决过程(Fox, Russo, Bowles, & Dutton, 2001; Fenske & Eastwood, 2003), 即主动将更多的注意资源分配给任务相关(task-relevant)的刺激, 减少对任务无关(task-irrelevant)刺激的注意。

2.1　强调任务相关刺激加工增强的模型

基于 Posner 的观点, Cohen 等 (1990)提出了认知控制自上而下的兴奋性偏向(top-down excitatory biasing, TEB)模型, 指出认知控制的功能是通过自上而下的激活偏向实现的, 在任务加工过程中, 前额叶皮层(prefrontal cortex, PFC)通过兴奋性信号激活加工任务相关刺激的神经元, 以调控注意资源的分配。Corbetta, Miezin, Dobmeyer, Shulman 和 Petersen (1991)的研究也发现, 与处理任务无关刺激的神经元相比, 负责加工任务相关刺激的神经元具有更高的激活水平。而后, 有研究者结合功能磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)数据对 TEB 模型进行改进, 建立了一个以 Stroop 任务为例的更符合生物学特性的综合神经网络模型(Herd, Banich, & O'Reilly, 2006)。该模型主要包含 4 个部分(层级), 最下层是颜色和词汇的信息输入, 而后进入信息处理层, 在处理完毕后信息传递至输出层, 即做出决策与反应, 颜色和词汇在信息处理和输出阶段会发生注意资源的竞争, 而 PFC 所表征的调控部分则在信息的处理和输出两个阶段调整注意资源以更好地完成任务, 见图 1。该模型认为任务相关刺激(颜色)加工和任务无关刺激(词汇)加工在某些阶段是独立的, 但更强调认知控制对任务相关刺激加工的增强调节, 认为对分心刺激加工的抑制这一说法可能只有最一般的行为学意义。

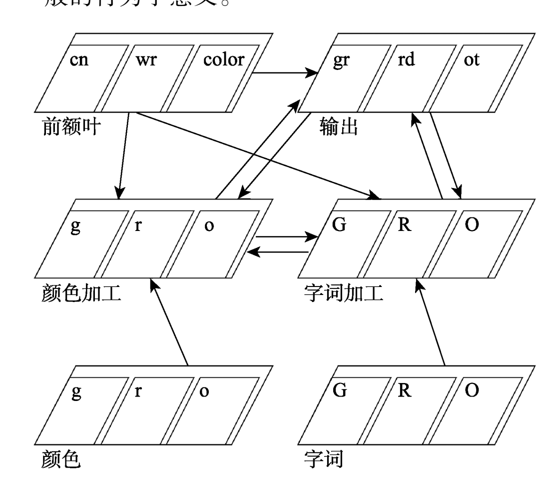


图 1　色−词加工的神经网络模型(改自: Herd et al., 2006)

注: g: 绿色; r: 红色; o: 其他颜色; G: 字词"绿"; R: 字词"红"; O: 其他字词; gr: 对"绿"反应; rd: 对"红"反应; ot: 对其他内容反应; cn: 颜色命名任务; wr: 词汇阅读任务; c: 颜色任务单元。

2.2　强调任务无关刺激加工抑制的模型

Houghton 和 Tipper (1996)则更关注任务无关刺激的加工机制, 强调冲突刺激本身的特征对认知控制的影响, 提出了 HT (Houghton & Tipper)选择性注意模型, 认为选择性注意是外部的信息输入(external inputs)和内在的监控系统(supervisory system)相互作用的结果。他们指出在监控系统中存在一个反馈环路, 该环路由抑制连接和兴奋连接两条通路构成, 大脑的监控系统首先会形成关于目标刺激的描述, 当外部信息输入之后, 大脑会将感知到的信息与已经形成的目标特征进行匹配, 如果匹配成功, 输入的信息会进入反馈环路中的兴奋连接通路, 激活监控系统的正性反馈从而获得更高的加工水平; 如果匹配失败则激活负性反馈, 相应信息的加工就会被监控系统发出的信号所抑制, 见图 2。任务无关刺激刚输入时相应的激活水平是上升的, 这个阶段主要是刺激驱动发挥作用, 当负性反馈开始后, 无关刺激的激活

水平便开始下降，直到低于基线值，并开始出现一定程度的抑制反弹，研究者指出在任务无关刺激激活水平的下降阶段会出现一个平缓期，认为这个平缓期是大脑对于抑制信号适应的表现。该模型试图阐释了任务无关刺激在冲突解决过程中的加工机制，在很大程度上促进了抑制控制的发展，近年来的一些研究，如 Frings 和 Wühr (2014)关于空间选择性注意机制的探究和 Martiny-Huenger, Gollwitzer 和 Oettingen (2014)基于 Flanker 任务开展的分心刺激贬值效应(distractor devaluation effect)的研究，都在很大程度上受到 Tipper 等思想的影响。

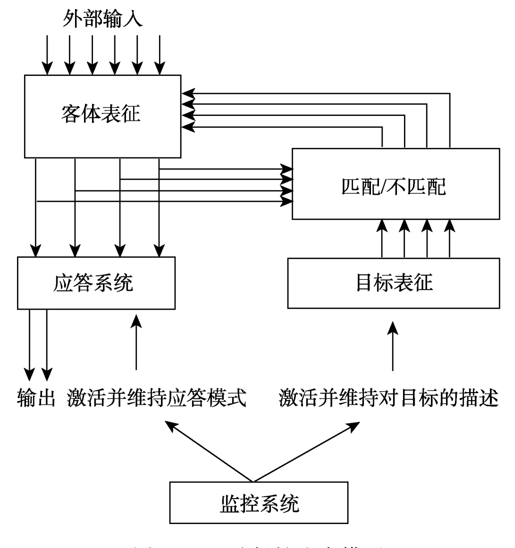


图 2　HT 选择性注意模型
(改自: Houghton & Tipper, 1996)

2.3　强调任务相关/无关刺激加工协同作用的模型

Botvinick, Braver, Barch, Carter 和 Cohen (2001)为了解释错误或冲突试次后行为表现提升的现象，提出了冲突测监理论。该理论认为，在冲突加工的过程中，有一个冲突监测(conflict monitoring, CM)模块，专门负责冲突情境的监测，然后将相关信息传递给执行控制(executive control, EC)模块，由执行控制模块负责解决冲突情境。当前一试次为冲突条件时，CM 模块发出的冲突信号会使 EC 模块提高认知控制的水平，将注意资源更多地分配给相关刺激，来帮助解决当前试次的冲突。而后，有研究者引入了赫布学习(Hebbian Learning)，将认知控制看作根据冲突情境实时调整的赫布学习规则，提出了更具一般性的学习模型(Verguts & Notebaert, 2008; 刘培朵，杨文静，田夏，陈安涛，2012)。在这个模型中，需要增强加工的刺激(即任务相关刺激)连接着负责任务激活的神经单元，需要被抑制的刺激(即任务无关刺激)与抑制神经单元相连，前扣带皮层(anterior cingulate cortex, ACC)探测到冲突时会发出信号，认知控制系统就会根据 ACC 提供的冲突监测信号对输入层的神经元发出指令，结合任务需求单元提供的任务信息，建立起刺激和神经元之间的任务激活联结和任务抑制联结，进而增强任务相关刺激的加工并抑制任务无关刺激的加工，见图 3。该模型强调任务相关/无关刺激加工的协同作用，更好地解释了认知控制系统如何确定调控和干预的对象(即任务相关/无关刺激)这一问题，而且可以根据刺激信息实时调整，更加灵活。

这些理论很大程度上解释了认知控制在冲突解决过程中的作用机制，但大都基于任务相关刺激增强和任务无关刺激抑制同时存在且协同发挥作用的假设，而这个假设却受到了当前实证研究的挑战。

3　增强或抑制的争议

围绕认知控制在冲突解决过程中的作用机制这一问题，研究者们开展了大量实验来探究任务相关刺激增强和任务无关刺激抑制扮演的角色，但对于两者是单独发挥作用还是协同作用，尚未形成统一的结论。

3.1　支持任务相关刺激加工增强的证据

有研究者将空间−数字反应联合编码(SNARC)任务与 Simon 任务相结合，设置了两种条件，即两种任务的目标刺激相同(如都是要求被试判断数字/字母是正体还是斜体)或不同(SNARC 任务要求被试判断数字是正体还是斜体，而 Simon 任务要求被试判断字母的颜色)，结果发现在任务转换时，任务相关刺激相同的条件下出现了冲突适应效应，即前一试次的冲突条件促进了当前试次的冲突解决，而任务相关刺激不同时则没有发现冲突适应；由于上述两种条件的任务无关刺激没有差异，说明任务相关刺激的变化导致了前后试次冲突解决机制的差异，表明冲突解决更多地依赖于对任务相关刺激的注意增强(Notebaert & Verguts, 2008)。为认知控制通过增强任务相关刺激的加工来促进冲突解决这一观点提供了证据。

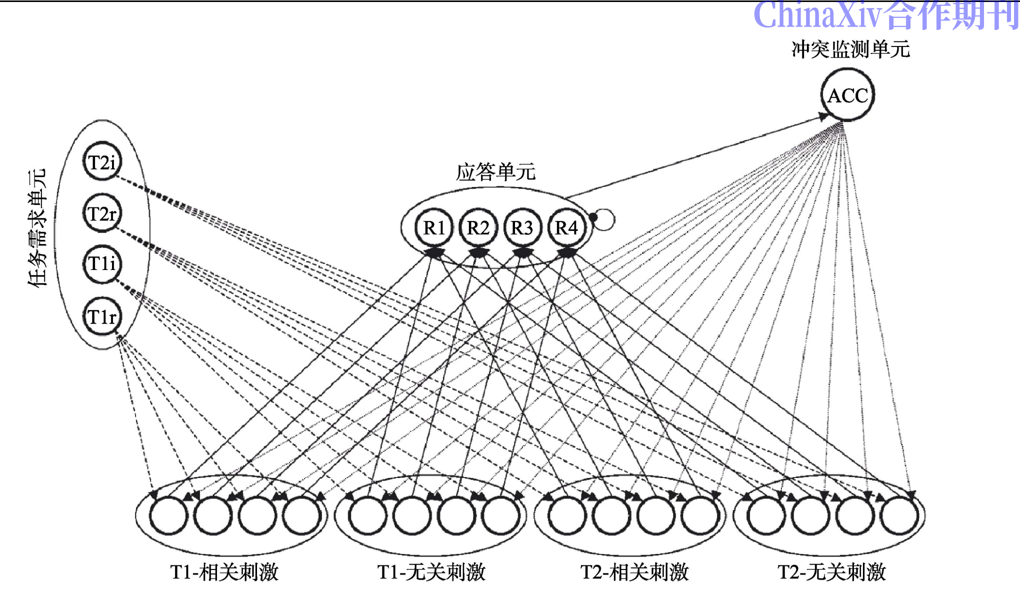


图 3　学习模型 (改自: Verguts & Notebaert, 2008)

注：T1：第一个任务；T2：第二个任务；T1r：第一个任务中的任务相关刺激特征；T1i：第一个任务中的任务无关刺激特征；T2r：第二个任务中的任务相关刺激特征；T2i：第二个任务中的任务无关刺激特征；R1-R4：不同的应答单元；ACC：前扣带皮层

脑成像研究也为刺激增强的观点提供了相应的证据。比如，Egner 和 Hirsch (2005)采用 fMRI 技术开展了一项研究来讨论认知控制的调节机制，实验采用了改编的 Stroop 范式，实验材料是带有人名的面孔图片，被试需要分别判断人名或面孔代表的人物的职业，即判断人名(面孔)的时候忽略面孔(人名)；实验选取对面孔加工敏感的梭状回面孔区(fusiform face area, FFA)作为感兴趣区，结果发现当面孔作为目标刺激时，与低控制(前一试次为一致条件而当前试次为冲突条件)条件相比，被试在需要高水平的认知控制(前一试次和当前试次均为冲突条件)时，FFA 的激活水平显著提升；当面孔作为分心刺激时，高控制条件下却没有发现 FFA 激活水平的下降；进而得出结论，认为冲突解决过程是认知控制对任务相关刺激加工的增强，而非对任务无关刺激加工的抑制。研究者指出面孔作为目标刺激条件下 FFA 激活的增强可能是因为自上而下的注意信号提升了 FFA 神经活动的基线水平，以便在接下来的刺激加工中可以争取到更多的注意资源。类似地，Purmann 和 Pollmann (2015)采用经典色–词 Stroop 任务，同样发现了高冲突条件下，任务相关刺激(颜色)特异性脑区(visual color-selective areas, V4/V4α)的激活增强，而分心刺激(词汇)的特异性脑区(visual word-selective area, VWFA)激活强度没有显著变化；还有研究者利用改编的 Navon 任务也得到了同样的结论(Weissman, Gopalakrishnan, Hazlett, & Woldorff, 2005)。

3.2　支持任务无关刺激加工抑制的证据

Burt (2002)采用启动刺激来研究经典 Stroop 范式中颜色命名的加工过程。在这个任务中，先给被试呈现一个黑白的线索词，并且这个线索词和随后呈现的 Stroop 颜色词相同，如在黑白的“红”出现后紧接着呈现绿色的“红”，要求被试判断后者的印刷色。结果发现被试在 Stroop 任务中的表现有显著提升。Burt 对此的解释为，由于注意资源有限，目标刺激和分心刺激会相互竞争，先出现的分心刺激在后续 Stroop 加工过程中易化了“词汇”这一分心物的加工，为目标刺激“颜色”的加工留出了更多的注意资源，促进了冲突的解决。但有研究者提出了质疑，认为任务无关刺激提前呈现，使被试可以提前编码抑制它的加工，以便在后续的冲突解决中减少它的干扰(Olivers & Humphreys, 2002)，而后，有人在 Burt 的研究基础上，把线索词汇由 Stroop 的分心刺激换成了目标刺激，如黑白的“绿”–绿色的“红”，结果发现被试在 Stroop 任务中表现变差(Chao, 2011)，根据 Burt 的解释，线索词被启动会易化 Stroop 任务中相同刺激(即目标颜色)的加工，同样会提升冲突解决的表现，但结果却相反，呈现出类似于负启动或

返回抑制的效应，支持了分心刺激抑制的观点。

Houghton 和 Tipper (1996)同样认为冲突解决是通过认知控制对分心刺激自上而下的抑制作用实现的。他们假设，在冲突解决过程中对于分心刺激的激活水平随时间呈倒 U 形曲线，最初受到自下而上的刺激激活，对干扰物的加工水平先提升，在认知控制自上而下的抑制功能发挥作用后便开始下降。Frings, Wentura 和 Wühr (2012)采用改编的 Flanker 任务开展了一个行为实验来验证这个假设，在有些试次中加入线索提示，要求被试对分心刺激进行反应。他们发现随着提示线索出现时间的延长，在冲突条件下被试对分心刺激加工的反应时和错误率呈现 U 形二次函数的倾向，反映了激活水平的倒 U 形趋势，与 Houghton 等人的模型预测相符。

有研究者将 Stroop 和 Simon 范式整合到一个实验任务中，操纵变量使两个任务的目标刺激相同而分心刺激不同，结果发现，当任务无关刺激发生改变时，没有冲突适应效应，即没有发现前一试次调动的认知控制对当前试次冲突解决的易化作用，说明冲突解决敏感于任务无关刺激的变化(Li, Nan, Wang, & Liu, 2014)。这个发现排除了认知控制通过增强目标刺激的加工来易化冲突解决的可能，支持了任务无关刺激的加工抑制这一解释。

3.3 支持增强和抑制共同起作用的证据

除了以上这些实证证据外，还有一些研究认为认知控制在增强任务相关刺激加工的同时也在抑制无关信息的加工，从而使得冲突解决的效率最大化。比如一项行为学研究采用色−词 Stroop 范式对被试进行训练，并通过前后测考察被试对颜色判断或者词汇报告成绩的变化，结果发现训练既可以提升颜色命名任务的表现也可以降低词汇加工的表现(Zhang, Ding, Li, Zhang, & Chen, 2013)，研究者推测，负责颜色和词汇加工的神经通路在信息处理过程中的某些时刻是分离的，为增强和抑制过程的并行发生提供了可能。此外，负启动(negative priming, NP)的相关研究也为此提供了证据。如 Schrobsdorff 等(2012)基于 Stroop 任务改编了传统的负启动范式，结果发现，与对照组(前后试次的刺激完全无关)相比，当前一试次的分心刺激变成当前试次的目标刺激或前一试次的目标刺激变成当前试次的分心刺激时，被试的反应时显著变慢。产生这一现象的原因可能是前一试次冲突解决过程中对分心刺激的加工抑制持续到了当前试次，干扰了当前试次的任务加工。但也有人认为负启动效应是记忆提取造成的(Möller, Mayr, & Buchner, 2013)，仍需要进一步探究。

Polk, Drake, Jonides, Smith 和 Smith (2008)采用经典的色−词 Stroop 任务，将颜色加工(双侧舌状回、梭状回后部)和词汇加工(左侧梭状回)的特异性脑区作为感兴趣区，发现在高冲突条件下被试的颜色特异性脑区激活增强而词汇加工脑区的激活水平减弱。Polk 等人对这一结果的解释是，当刺激特征属于同一维度时，对其中一个特征的注意增加也会增强对另一刺激特征的加工，当刺激特征属于分离的两个维度时，对一个特征的注意增加则会抑制另一特征的加工，而 Stroop 任务中的颜色(目标刺激)和词汇(分心刺激)分属两个不同的维度，因此在对颜色加工增强的同时会抑制词汇加工。

但除此之外，人们还发现了一些很难解释的结果。如在一项色−词 Stroop 实验中既没有发现颜色(目标刺激)特异性加工脑区的激活增强，也没有发现词汇(分心刺激)加工区域的抑制(Pardo, Pardo, Janer, & Raichle, 1990)；另外一项研究没有发现目标刺激的加工增强，却发现了分心刺激的加工脑区激活增强(Banich et al., 2001)。这些结果掺杂在相关刺激增强/无关刺激抑制的争论中，使得这个问题更难以定论。

4 小结与展望

围绕认知控制在冲突解决中的注意调节机制这一问题，研究者们展开深入探讨，取得了大量成果，但在一些问题上还存在争论。通过归纳总结，我们发现这些争论反映了相关研究存在的一些问题。首先，概念的界定不明确，“分心物抑制”是一个复杂且颇有争议的概念，很多研究用到“抑制”这一术语时的指代都不同(Gorfein & MacLeod, 2007)，比如是行为表现还是神经水平的抑制(Frings & Wühr, 2014)。其次，实验范式的差异可能会引入不同的混淆变量，如 Frings 等(2012)采用 Flanker 范式得出结论，认为认知控制可以通过任务无关刺激的加工抑制来易化冲突解决，但由于 Flanker 范式的任务相关刺激和任务无关刺激在空间位置上是分离的，实验结果也可以用“聚

焦镜头(zoom-lens)模型”来解释(Frings & Wühr, 2014), 而经典的 Stroop 任务中任务相关/无关刺激是一个客体的不同属性可以排除空间位置的干扰。最后, 很多相关研究掺杂了工作记忆和个体差异等因素, 有些实验还会加入线索、训练或是操纵试次的条件比例、刺激类型等。比如有研究发现高强度的工作记忆负载会增强分心刺激的干扰效应(Kalanthroff, Avnit, Henik, Davelaar, & Usher, 2015), 但工作记忆负载在有些条件下却也可以促进冲突任务的解决(Clouter, Wilson, Allen, Klein, & Eskes, 2015; Minamoto, Shipstead, Osaka, & Engle, 2015)。而被试的个体差异, 如情绪(Chun, Park, Kim, Kim, & Kim, 2017)、动机强度(Botvinick & Braver, 2015)、加工策略(Soutschek, Stelzel, Paschke, Walter, & Schubert, 2015)等也都影响冲突解决的过程。

由此可见, 认知控制的调节机制似乎不是一成不变的, 如 Soutschek 等(2015)发现动机可以增强被试对任务相关刺激的加工来提高冲突解决的效率, 而对任务难度的预期则主要影响分心刺激的加工过程来促进冲突解决; Noonan 等(2016)发现分心刺激的加工抑制只有在区组设计时才出现, 而目标刺激增强则一直存在。基于此, 我们提出这样一个假设: 在冲突解决过程中对任务相关刺激的加工增强与分心刺激的加工抑制并不是非此即彼的关系, 而是作为两种不同的加工策略灵活地参与冲突的解决, 具体采用哪种调节策略受到任务本身(如冲突类型、任务难度、不同条件的比例、工作记忆负载等)和个体情况(如情绪、动机、加工策略、预期)的影响。因此, 我们认为, 对认知控制的研究不应该再集中于目标刺激的加工增强和无关刺激的加工抑制的是非之争, 而应该去探寻认知控制调节策略的生理心理加工机制及其影响因素和应用价值。

未来的研究应更加关注刺激加工增强/抑制的神经机制, 可以从高级控制皮层和初级感觉皮层之间关系的着手, 探究两者之间的相互作用。神经元之间通过突触互相连接, 通过抑制性和兴奋性的神经递质来传导信号, 而高级神经元对初级神经元的调控则通过长轴突来发挥作用(Harris & Mrsic-Flogel, 2013), 这种远距离调控从宏观水平被称为功能连接。最近的研究发现, 额顶控制网络能够通过改变功能连接强度灵活调控感觉、运动等其他网络(Cole et al., 2013; Cole, Ito, Bassett, & Schultz, 2016)。另有研究发现, 前眼区(frontal eye field, FEF)和下额叶联合区(inferior frontal junction, IFJ)分别在空间和非空间注意中起着增强对靶刺激的注意的功能(Gregoriou, Gotts, Zhou, & Desimone, 2009; Baldauf & Desimone, 2014)。这些研究为我们理解冲突解决的机制提供了神经层面的视角, 今后的研究可以通过考察额顶控制网络对冲突任务中相关/无关刺激的功能连接水平来解释其加工机制。

认知控制调节机制的相关研究除了具有重要的理论意义外, 还可以为认知损伤患者的干预提供参考。已有大量研究表明抑郁症、多动症和强迫症(Cole et al., 2014)及成瘾(McClure & Bickel, 2014; Luna, Marek, Larsen, Tervo-Clemmens, & Chahal, 2015)等心理和行为障碍都与认知控制功能的失调密不可分, 还有前额叶损伤的病人也缺乏足够的抑制功能。近年来, 认知控制的训练研究取得了一些成效, 比如一项针对多动症儿童的注意力集中训练, 显著提升了被试对任务相关刺激的加工水平(Navalyal & Gavas, 2014), 对老年人(Gajewski & Falkenstein, 2012; Mishra, de Villers-Sidani, Merzenich, & Gazzaley, 2014)及焦虑症患者(Owens, Koster, & Derakshan, 2013)进行的分心刺激的抑制训练(Gajewski & Falkenstein, 2012; Mishra et al., 2014)也取得了显著效果(Owens et al., 2013); 此外, 近期的元分析研究也表明, 对抑郁症患者进行认知控制训练(cognitive control training, CCT)可以改善抑郁症状(Koster, Hoorelbeke, Onraedt, Owens, & Derakshan, 2017), 提升被试的工作记忆能力和日常认知功能(Motter et al., 2016)。因此, 探明认知控制作用机制的影响因素, 并找到高效的认知控制策略, 无疑也有着重大的临床价值。

参考文献

刘培朵, 杨文静, 田夏, 陈安涛. (2012). 冲突适应效应研究述评. *心理科学进展, 20*(4), 532–541.

刘勋, 南威治, 王凯, 李琦. (2013). 认知控制的模块化组织. *心理科学进展, 21*(12), 2091–2102.

Abel, S., Dressel, K., Weiller, C., & Huber, W. (2012). Enhancement and suppression in a lexical interference fMRI-paradigm. *Brain & Behavior*, *2*(2), 109–127.

Baldauf, D., & Desimone, R. (2014). Neural mechanisms of

object-based attention. *Science, 344*, 424–427.

Banich, M. T., Milham, M. P., Jacobson, B. L., Webb, A., Wszalek, T., Cohen, N. J., & Kramer, A. F. (2001). Attentional selection and the processing of task-irrelevant information: Insights from fMRI examinations of the Stroop task. *Progress in Brain Research, 134*, 459–470.

Biehl, S. C., Ehlis, A. C., Müller, L. D., Niklaus, A., Pauli, P., & Herrmann, M. J. (2013). The impact of task relevance and degree of distraction on stimulus processing. *BMC Neuroscience, 14*, 107.

Botvinick, M., & Braver, T. (2015). Motivation and cognitive control: From behavior to neural mechanism. *Annual Review of Psychology, 66*, 83–113.

Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review, 108*(3), 624–652.

Burt, J. S. (2002). Why do non-color words interfere with color naming? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 28*(5), 1019–1038.

Chao, H. F. (2011). Active inhibition of a distractor word: The distractor precue benefit in the Stroop color-naming task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 37*(3), 799–812.

Chechko, N., Kellermann, T., Schneider, F., & Habel, U. (2014). Conflict adaptation in emotional task underlies the amplification of target. *Emotion, 14*(2), 321–330.

Chun, J. W., Park, H. J., Kim, D. J., Kim, E., & Kim, J. J. (2017). Contribution of fronto-striatal regions to emotional valence and repetition under cognitive conflict. *Brain Research, 1666*, 48–57.

Clouter, A., Wilson, R., Allen, S., Klein, R. M., & Eskes, G. A. (2015). The influence of verbal and spatial working memory load on the time course of the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 41*(2), 342–355.

Cohen, J. D., Dunbar, K., & McClelland, J. L. (1990). On the control of automatic processes - a parallel distributed-processing account of the Stroop effect. *Psychological Review, 97*(3), 332–361.

Cole, M. W., Ito, T., Bassett, D. S., & Schultz, D. H. (2016). Activity flow over resting-state networks shapes cognitive task activations. *Nature Neuroscience, 19*(12), 1718–1726.

Cole, M. W., Repovš, G., & Anticevic, A. (2014). The frontoparietal control system: A central role in mental health. *Neuroscientist, 20*(6), 652–664.

Cole, M. W., Reynolds, J. R., Power, J. D., Repovs, G., Anticevic, A., & Braver, T. S. (2013). Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control. *Nature Neuroscience, 16*(9), 1348–1355.

Corbetta, M., Miezin, F. M., Dobmeyer, S., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1991). Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: Functional anatomy by positron emission tomography. *Journal of Neuroscience, 11*(8), 2383–2402.

Egner, T., & Hirsch, J. (2005). Cognitive control mechanisms resolve conflict through cortical amplification of task-relevant information. *Nature Neuroscience, 8*(12), 1784–1790.

Fan, J. (2014). An information theory account of cognitive control. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 680.

Fenske, M. J., & Eastwood, J. D. (2003). Modulation of focused attention by faces expressing emotion: Evidence from Flanker tasks. *Emotion, 3*(4), 327–343.

Fox, E., Russo, R., Bowles, R., & Dutton, K. (2001). Do threatening stimuli draw or hold visual attention in subclinical anxiety? *Journal of Experimental Psychology-General, 130*(4), 681–700.

Frings, C., Wentura, D., & Wühr, P. (2012). On the fate of distractor representations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 38*(3), 570–575.

Frings, C., & Wühr, P. (2014). Top-down deactivation of interference from irrelevant spatial or verbal stimulus features. *Attention Perception & Psychophysics, 76*(8), 2360–2374.

Gajewski, P. D., & Falkenstein, M. (2012). Training-induced improvement of response selection and error detection in aging assessed by task switching: Effects of cognitive, physical, and relaxation training. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*, 130.

Gorfein, D. S., & MacLeod, C. M. (2007). *Inhibition in cognition*. Washington, DC: American Psychological Association.

Gregoriou, G. G., Gotts, S. J., Zhou, H. H., & Desimone, R. (2009). High-frequency, long-range coupling between prefrontal and visual cortex during attention. *Science, 324*, 1207–1210.

Harris, K. D., & Mrsic-Flogel, T. D. (2013). Cortical connectivity and sensory coding. *Nature, 503*(7474), 51–58.

Herd, S. A., Banich, M. T., & O'Reilly, R. C. (2006). Neural mechanisms of cognitive control: An integrative model of stroop task performance and fMRI data. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(1), 22–32.

Houghton, G., & Tipper, S. P. (1996). Inhibitory mechanisms of neural and cognitive control: Applications to selective attention and sequential action. *Brain and Cognition, 30*(1), 20–43.

Kalanthroff, E., Avnit, A., Henik, A., Davelaar, E. J., & Usher, M. (2015). Stroop proactive control and task conflict are modulated by concurrent working memory

load. *Psychonomic Bulletin & Review, 22*(3), 869–875.

Kim, S. Y., Kim, M. S., & Chun, M. M. (2005). Concurrent working memory load can reduce distraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*(45), 16524–16529.

Koster, E. H. W., Hoorelbeke, K., Onraedt, T., Owens, M., & Derakshan, N. (2017). Cognitive control interventions for depression: A systematic review of findings from training studies. *Clinical Psychology Review, 53*, 79–92.

Li, Q., Nan, W. Z., Wang, K., & Liu, X. (2014). Independent processing of stimulus-stimulus and stimulus-response conflicts. *PLoS One, 9*(2), e89249.

Luna, B., Marek, S., Larsen, B., Tervo-Clemmens, B., & Chahal, R. (2015). An integrative model of the maturation of cognitive control. *Annual Review of Neuroscience, 38*, 151–170.

Manza, P., Hu, S., Chao, H. H., Zhang, S., Leung, H. C., & Li, C. S. R. (2016). A dual but asymmetric role of the dorsal anterior cingulate cortex in response inhibition and switching from a non-salient to salient action. *Neuroimage, 134*, 466–474.

Martiny-Huenger, T., Gollwitzer, P. M., & Oettingen, G. (2014). Distractor devaluation in a flanker task: Object-specific effects without distractor recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(2), 613–625.

McClure, S. M., & Bickel, W. K. (2014). A dual-systems perspective on addiction: Contributions from neuroimaging and cognitive training. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1327*, 62–78.

Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York, NY, US: Henry Holt and Company.

Minamoto, T., Shipstead, Z., Osaka, N., & Engle, R. W. (2015). Low cognitive load strengthens distractor interference while high load attenuates when cognitive load and distractor possess similar visual characteristics. *Attention, Perception, & Psychophysics, 77*(5), 1659–1673.

Mishra, J., de Villers-Sidani, E., Merzenich, M., & Gazzaley, A. (2014). Adaptive training diminishes distractibility in aging across species. *Neuron, 84*(5), 1091–1103.

Möller, M., Mayr, S., & Buchner, A. (2013). Target localization among concurrent sound sources: No evidence for the inhibition of previous distractor responses. *Attention, Perception, & Psychophysics, 75*(1), 132–144.

Motter, J. N., Pimontel, M. A., Rindskopf, D., Devanand, D. P., Doraiswamy, P. M., & Sneed, J. R. (2016). Computerized cognitive training and functional recovery in major depressive disorder: A meta-analysis. *Journal of Affective Disorders, 189*, 184–191.

Navalyal, G. U., & Gavas, R. D. (2014). A dynamic attention assessment and enhancement tool using computer graphics. *Human-centric Computing and Information Sciences, 4*(1), 11.

Noonan, M. P., Adamian, N., Pike, A., Printzlau, F., Crittenden, B. M., & Stokes, M. G. (2016). Distinct mechanisms for distractor suppression and target facilitation. *Journal of Neuroscience, 36*(6), 1797–1807.

Notebaert, W., & Verguts, T. (2008). Cognitive control acts locally. *Cognition, 106*(2), 1071–1080.

Olivers, C. N. L., & Humphreys, G. W. (2002). When visual marking meets the attentional blink: More evidence for top-down, limited-capacity inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 28*(1), 22–42.

Owens, M., Koster, E. H. W., & Derakshan, N. (2013). Improving attention control in dysphoria through cognitive training: Transfer effects on working memory capacity and filtering efficiency. *Psychophysiology, 50*(3), 297–307.

Padmala, S., & Pessoa, L. (2011). Reward reduces conflict by enhancing attentional control and biasing visual cortical processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(11), 3419–3432.

Pardo, J. V., Pardo, P. J., Janer, K. W., & Raichle, M. E. (1990). The anterior cingulate cortex mediates processing selection in the Stroop attentional conflict paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 87*(1), 256–259.

Polk, T. A., Drake, R. M., Jonides, J. J., Smith, M. R., & Smith, E. E. (2008). Attention enhances the neural processing of relevant features and suppresses the processing of irrelevant features in humans: A functional magnetic resonance imaging study of the stroop task. *Journal of Neuroscience, 28*(51), 13786–13792.

Posner, M., & Snyder, C. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: Loyola symposium*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Posner, M. I., & Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neurosciences, 17*(2), 75–79.

Purmann, S., & Pollmann, S. (2015). Adaptation to recent conflict in the classical color-word Stroop-task mainly involves facilitation of processing of task-relevant information. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 88.

Reisenauer, R., & Dreisbach, G. (2014). The shielding function of task rules in the context of task switching. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 67*(2), 358–376.

Schrobsdorff, H., Ihrke, M., Behrendt, J., Hasselhorn, M., & Herrmann, J. M. (2012). Inhibition in the dynamics of selective attention: An integrative model for negative priming. *Frontiers in Psychology, 3*, 491.

Shenhav, A., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2013). The expected value of control: An integrative theory of anterior cingulate cortex function. *Neuron, 79*(2), 217–240.

Soutschek, A., Stelzel, C., Paschke, L., Walter, H., & Schubert, T. (2015). Dissociable effects of motivation and expectancy on conflict processing: An fMRI Study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 27*(2), 409–423.

Stout, D. (2010). The evolution of cognitive control. *Topics in Cognitive Science, 2*(4), 614–630.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18*, 643–662.

Verguts, T., & Notebaert, W. (2008). Hebbian learning of cognitive control: Dealing with specific and nonspecific adaptation. *Psychological Review, 115*(2), 518–525.

Weissman, D. H., Gopalakrishnan, A., Hazlett, C. J., & Woldorff, M. G. (2005). Dorsal anterior cingulate cortex resolves conflict from distracting stimuli by boosting attention toward relevant events. *Cerebral Cortex, 15*(2), 229–237.

Wendt, M., Luna-Rodriguez, A., & Jacobsen, T. (2012). Conflict-Induced perceptual filtering. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 38*(3), 675–686.

Wingfield, A. (2016). Evolution of models of working memory and cognitive resources. *Ear and Hearing, 37*, 35S–43S.

Zhang, L. W., Ding, C., Li, H., Zhang, Q. L., & Chen, A. T. (2013). The influence of attentional control on stimulus processing is category specific in Stroop tasks: Attentional control. *Psychological Research, 77*(5), 599–610.

Attentional regulation mechanisms of cognitive control in conflict resolution

LI Zhenghan[1,2]; YANG Guochun[1,2]; NAN Weizhi[3]; LI Qi[1,2]; LIU Xun[1,2]

([1] *CAS Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Beijing* 100101, *China*)

([2] *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

([3] *Brain and Cognitive Neuroscience Research Center, School of Education, Guangzhou University, Guangzhou* 510006, *China*)

Abstract: Cognitive control is essential in conflict processing. Most related theories elucidated the mechanism via integrating both the enhancement of task-relevant stimuli and inhibition of task-irrelevant stimuli, which has been challenged by recent studies. We reviewed the major debates on whether enhancement or inhibition might be the mechanism and their empirical evidences, and then argued that conflict resolution mechanisms might not be constant, but depend on conflict situation and individual state. Future studies could pay more attention to reveal the influence factors of cognitive control, exploring cognitive processing strategies and doing cognitive training, which may benefit the intervention treatment of the cognitive function disorders.

Key words: cognitive control; conflict resolution; attention; enhancement; inhibition